

# 用钛渣砂做大型铸钢件抗粘砂材料的研究

沈阳铸造研究所  
第一重型机器厂

孙公文  
胡雪洁

TF823

**【摘要】**钛渣是以  $Al_2O_3$  为主要成分的冶钛残渣，具有很好的高温化学稳定性，与金属液的润湿角以及其线膨胀系数、导热系数、蓄热系数等热物理参数均与铬铁矿砂相似。电镜照片显示，浇注后的钛渣砂与金属液接触表面会出现一层极薄、极稠的富集液相，能堵塞住砂粒间缝隙，阻止金属液向砂型内渗透，起到抗粘砂作用。生产应用表明，钛渣砂成本低，是一种具有开发价值的较为理想的大型铸钢件生产用的抗粘砂材料。

关键词：大型铸钢件 抗粘砂材料 钛渣砂

## Study on the Ti-dross Sand Used as Moulding Material to Prevent Metal Penetration for Large Steel Castings

Sun Gongwen  
(Shenyang Research Institute of Foundry)  
Hu Xuejie  
(No. 1 Heavy Machine Factory)

### Abstract

The Ti-dross sand is a waste residue of smelting titanium which consists mainly of  $Al_2O_3$ , and has better stability at elevated temperature, its thermophysical parameters such as wetting angle with melt, coefficient of thermal expansion, of thermal conductivity and of accumulated heat etc. are analogous to that of chromite sand. A layer of thin, viscous liquid phase occurs in the interface between Ti-dross sand and melt by observation of SEM, which top the intergranular voids in the mould face and prevent metal penetration into mould, therefore it is a good moulding material for large steel castings. Application in practice indicated that Ti-dross sand is a low-cost, ideal moulding material in production of large steel castings.

大型铸钢件的生产，钢水用量大，浇注时间长，铸件凝固慢，钢水对型、芯的压力大，型、芯受到的热侵蚀和热冲刷严重，铸件容易产生粘砂等缺陷。为保证铸件质量，必须采用优质的抗粘砂涂料和面砂，使其在浇注过程中能保护型（芯）不受钢水侵蚀，在清理铸件时又能起到剥离层的作用。锆砂和铬铁矿砂虽然是比

较理想的大型铸钢件的抗粘砂材料，但是由于国内的资源少，品位低，价格高，质量不稳定，主要还依靠进口，所以难以在生产中大量推广使用。为此，我们从实际出发，经过试验研究，开发出较有前途的抗粘砂材料——钛渣砂。

### 一、钛渣砂简介

1995年2月9日收到初稿，1995年8月4日收到修改稿。

《铸造》1995.10

· 13 ·

钛渣砂是冷钛生产的废渣，主要成分是  $Al_2O_3$ 。加工后的钛渣砂呈黑褐色，具有金属光泽和折光现象，密度为  $3.85g/cm^3$  粒形系数为 1.43，呈多角形，耐火度为  $1740\sim 1760^\circ C$ ，烧结温度为  $1500\sim 1600^\circ C$ ，显微硬度为  $1038\sim 1365$ ，莫氏硬度为  $7.0\sim 7.4$ ， $850^\circ C$  时最大发气量为  $6.8ml/g$ ，其差热曲线与铬铁矿砂相似，无明显吸热或放热现象。

## 二、钛渣砂的铸造工艺性能

以钛渣砂、铬铁矿砂、锆砂、石英砂为原砂，以呋喃树脂为粘结剂的型砂高温抗压强度曲线如图 1 所示。以水玻璃为粘结剂，以钛渣砂、铬铁矿砂为原砂的型砂高温抗压强度曲线如图 2 所示。由图 1 可以看出，铬铁矿树脂砂和钛渣树脂砂随着温度的升高，高温抗压强度先是增加，在  $1100^\circ C$  时达到最大值，温度再增加，抗压强度开始下降。但是在相同温度下，钛渣树脂砂的高温抗压强度高于铬铁矿树脂砂。由图 2 可以看出，随着温度的升高，钛渣水玻璃砂和铬铁矿水玻璃砂的高温抗压强度都呈明显下降；在相同温度下，铬铁矿水玻璃砂的强度高于钛渣水玻璃砂。

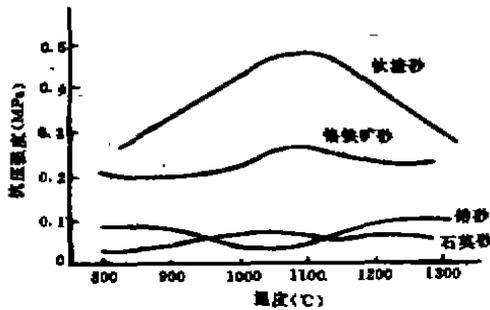


图 1 呋喃树脂砂高温抗压强度对比

由于钛渣砂和铬铁矿砂的 pH 值都在  $6\sim 7$  之间，酸耗值为  $25\sim 30$ ，用其配制型砂，适宜的呋喃树脂加入量为原砂重的  $1.5\sim 2.5\%$ ，硬化剂加入量为树脂量的  $80\sim 150\%$ ；水玻璃砂中的水玻璃加入量以  $4\sim 5\%$  为宜。为了提高水玻璃砂的湿压强度，在混砂时可加入  $2\%$  左右粘土。但粘土加入量不易过多，否则会影响铸型干强度，表面安定性及残留强度。

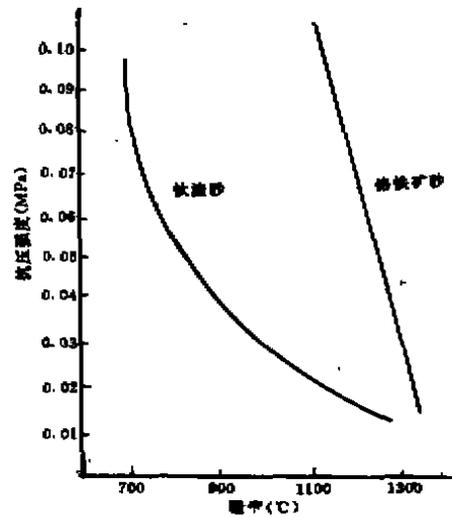


图 2 水玻璃砂高温抗压强度对比

## 三、钛渣砂抗粘砂机理探讨

### 1. “粘砂”样块的岩相及能谱分析

对试验初期浇注试块的“粘砂”部位进行的岩相显微分析和能谱分析表明，砂粒虽然被金属液所包围，但是砂粒与金属接触边缘轮廓清晰、界线明显，而且化学成分和本体相比没有大的变化。这说明钛渣砂与高温铁水接触未发生化学变化。

### 2. 金属液对钛渣砂铸型润湿角 $\theta$

金属液对铸型表面的浸润程度是用润湿角  $\theta$  来衡量的。润湿角是以金属液与铸型表面分界线通过液、固、气三相交点处与液滴表面的切线夹角来表示，如图 3 所示。

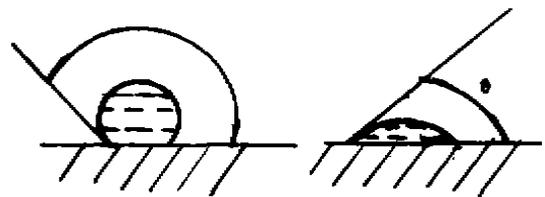


图 3 润湿角表示法

液态金属能否渗透到砂粒间隙中，主要与毛细管压力（亦称临界压力或渗透压力）有关。它可以用下面公式来表示：

$$P = 2\sigma \cdot \cos\theta / r \quad (1)$$

式中  $P$ ——毛细管压力, Pa  
 $\sigma$ ——液态金属的表面张力, Pa  
 $\theta$ ——液态金属对铸型表面的润湿角, $^{\circ}$   
 $r$ ——砂粒之间的有效孔隙半径, m

通常,当  $\theta < 90^{\circ}$  时,  $\cos\theta$  为正值, 金属液对铸型润湿; 当  $\theta = 0^{\circ}$  时,  $\cos\theta = 1$ , 表示金属液对铸型完全润湿; 当  $\theta > 90^{\circ}$  时,  $\cos\theta$  为负值, 金属液对铸型不润湿; 当  $\theta = 180^{\circ}$  时, 金属液对铸型完全不润湿。

水玻璃铬铁矿砂和水玻璃钛渣砂与 1Cr18Ni9Ti 不锈钢, 高锰钢, 45# 钢的润湿角照片见图 4~图 6。



(a) 钛渣砂 (b) 铬铁矿砂  
 图 4 1Cr18Ni9Ti 钢液与水玻璃砂的润湿情况



(a) 钛渣砂 (b) 铬铁矿砂  
 图 5 高锰钢液与水玻璃砂的润湿情况



(a) 钛渣砂 (b) 铬铁矿砂  
 图 6 45# 钢液与水玻璃砂的润湿情况

图 4 中, 1Cr18Ni9Ti 钢液的温度为  $1500^{\circ}\text{C}$ , 钢液与钛渣砂的润湿角约为  $110^{\circ}$ , 与铬铁矿砂的润湿角也是  $110^{\circ}$  左右, 但是铬铁矿砂表面轮廓稍有模糊, 有熔化现象。图 5a 中的高锰钢液的温度为  $1469^{\circ}\text{C}$ , 图 5b 中为  $1545^{\circ}\text{C}$ 。图

《铸造》1995. 10

5 中钛铁矿砂的轮廓清晰,  $\theta$  角约为  $82^{\circ}$ , 而铬铁矿砂与高锰钢液接触处出现了严重的熔化现象, 轮廓模糊,  $\theta$  角已无法测量。图 6 中, 45# 钢液的温度为  $1537^{\circ}\text{C}$ , 两张照片轮廓都很清晰, 45# 钢液与钛渣砂的润湿角约  $100^{\circ}$ , 与铬铁矿砂的润湿角约为  $95^{\circ}$ 。由图 4~图 6 的照片中可以看出, 钛渣砂与几种钢液的润湿角略大于铬铁矿砂, 且钛渣砂与钢液接触表面没有熔化现象, 而铬铁矿砂与高锰钢液和 1Cr18Ni9Ti 钢液接触, 表面有熔化现象。可以认为, 钛渣砂与钢液的润湿情况好于铬铁矿砂。

### 3. 热物理参数分析

钛渣砂和铬铁矿砂、橄榄石砂、硅砂、锆砂的线膨胀系数曲线如图 7 所示, 钛渣砂和铬铁矿砂的导热系数曲线如图 8 所示, 热扩散系数曲线如图 9 所示, 比热容曲线如图 10 所示, 蓄热系数曲线如图 11 所示。

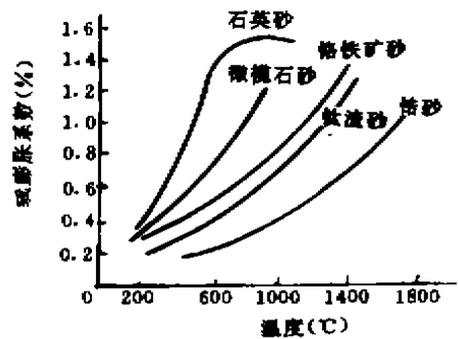


图 7 钛渣砂和几种原砂的线膨胀系数曲线

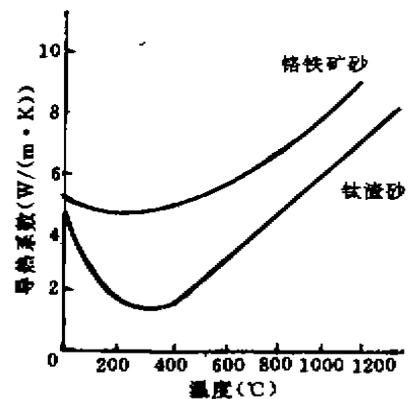


图 8 钛渣砂和铬铁矿砂导热系数曲线

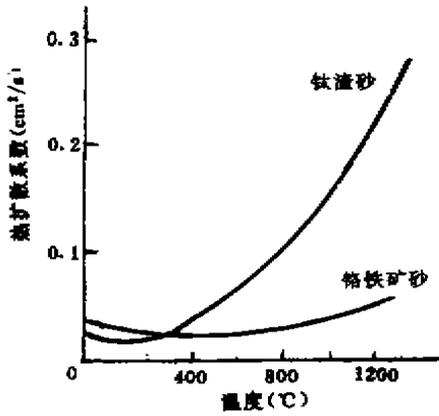


图9 钛渣砂和铬铁矿砂热扩散系数曲线

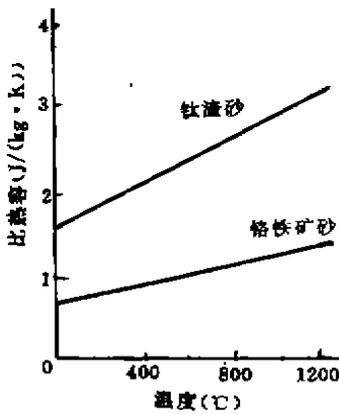


图10 钛渣砂和铬铁矿砂比热容曲线

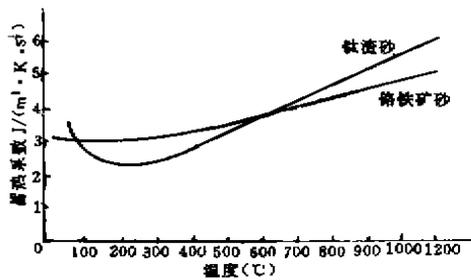


图11 钛渣砂和铬铁矿砂蓄热系数曲线

由图7~图11可见，钛渣砂的线膨胀比较平稳，没有突变，膨胀系数比铬铁矿砂稍小，蓄热系数和铬铁矿砂相当，导热系数略小于铬铁矿砂，热扩散系数（表示物体内部各点温度趋于一致的能力）高于铬铁矿砂，比热容比铬铁矿砂高。总的看，钛渣砂的热物理性能和铬铁矿砂相近，抗粘砂性能应该相近。

#### 4. X光衍射和电子显微镜分析

经X光衍射分析初步认定，钛渣砂的主体相为六方晶系和立方晶系结构，分子式为 $\text{CaAl}_{12}\text{O}_{19}$ 、 $\text{FeAl}_2\text{O}_4$ 、 $(\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{O}_{23})$ 。钛渣砂中的Al大部分与其它元素化合成较复杂的化合物，只有极少数的以铝的氧化物形式存在。试验中还发现钛渣砂中含有极少量 $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{L-Al}_2\text{O}_3$ ，而且 $\text{CaAl}_{12}\text{O}_{19}$ 的实测点阵点数略高于标准值，这可能是由于样品中熔入了Mg、Ti、Si等元素或者个别点阵发生了元素置换的结果。

图12、图13为浇注后水玻璃铬铁矿砂和水玻璃钛渣砂的电子显微镜照片。由图可以看出，各层铬铁矿砂和钛渣砂的烧结情况基本相似，浇注后钛渣砂和金属液接触处会出现一层极薄、极稠的富集液相，它能堵塞住砂粒间的缝隙，阻止金属液向砂型内部渗透，起到抗粘砂作用。富集液相出现的多少与钛渣砂的成分、粒度、型砂粘结剂的种类及浇注金属液的温度等因素有关。

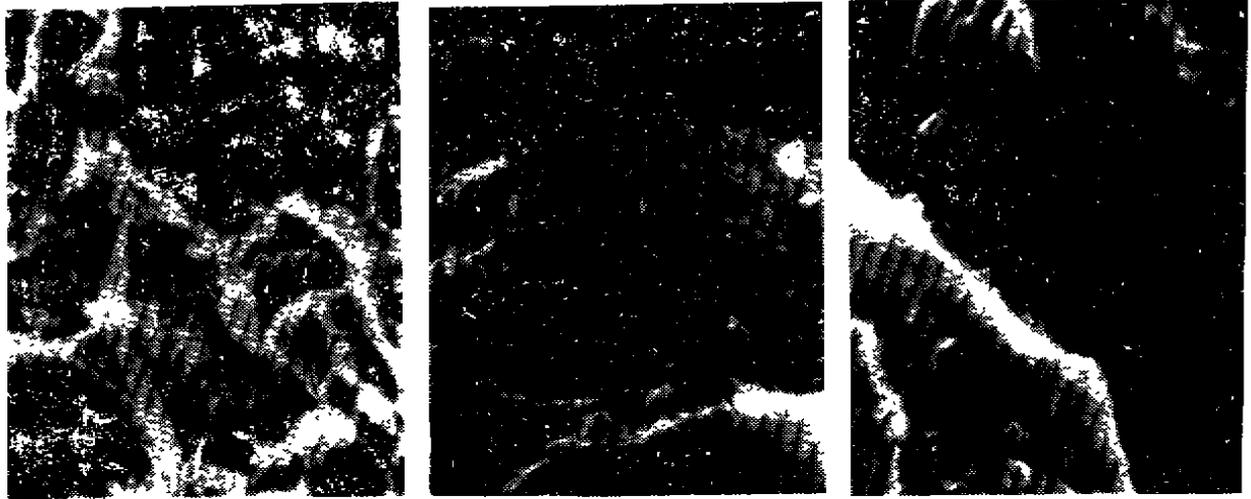
### 四、钛渣砂在铸钢生产中的应用

铬铁矿砂是公认的较理想的铸钢生产用抗粘砂材料。但由于铬铁矿砂中常含有蛇纹石等杂质，在高温状态下会分解，产生大量气体，致使铸件表面易产生麻坑（气窝）和皮下气孔等铸造缺陷，影响铸件表面粗糙度。而钛渣砂是高温冶钛残渣，高温下不产生分解产物，其中含有少量的Ti，其被氧化的能力较强，使铸型和金属液界面趋于还原气氛，可减少铸件表面氧化，利于保证铸件尺寸精度和表面光洁度。

采用水玻璃钛渣砂做面砂，在十几个工厂浇注了碳钢、高合金钢等各种尺寸的铸件，进行生产验证，铸件最大截面积达到 $810 \times 600\text{mm}$ ，浇注钢水最大吨位为81吨，均取得较好的结果。如30万kW汽轮机高压外缸，材质为15CrMoV，最大壁厚400mm，铸件净重51t，浇注钢水总重81t，用水玻璃然渣砂做面砂，采用醇基刚玉粉或锆英粉涂料，生产的铸件 $\text{Ra}100 \sim 50\mu\text{m}$ ，个别处达到 $\text{Ra}25\mu\text{m}$ ，尺寸精度

《铸造》1995.10

完全符合设计要求。

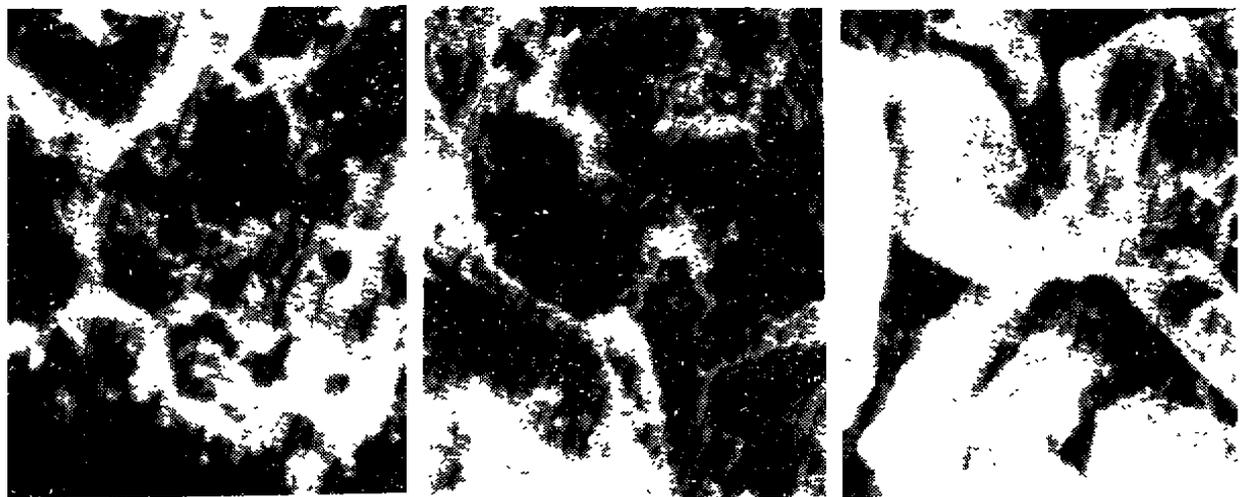


(a) 面砂表层

(b) 过渡层

(c) 背砂层

图 12 浇注后铬铁矿砂型的电镜照片 200×



(a) 面砂表层

(b) 过渡层

(c) 背砂层

图 13 浇注后钛渣砂型的电镜照片 200×

以钛渣砂作为大型铸钢件的抗粘砂材料，综合利用了冶金废渣，减少了对环境的污染，可以代替锆砂、铬铁矿砂造型生产大型铸钢件。用钛渣砂浇注大型铸钢件的轮廓清晰、尺寸精确，

表面无粘砂、气孔、夹渣、皮下气孔，氧化皮也较少，还可以大幅度降低生产成本。生产验证表明，钛渣砂是一种具有开发价值的较为理想的抗粘砂材料。 (编辑：田秀全)

(上接第 4 页)

我毫不怀疑，通过国际合作，我们将激起足够的动力去实现我们的目标。这个目标不是 Buddha 神像，而是藏在我们心中和脑海里的希望、梦、理想、友谊和美好的回忆。

《铸造》1995.10

女士们、先生们、尊敬的来宾们，现在我以极大的荣幸宣布：第 61 届世界铸造会议正式开幕！

谢谢！

(全国铸造学会秘书处 供稿)